

## MONITORING METHOD OF EQUIPMENT

**Publication number:** JP59068643  
**Publication date:** 1984-04-18  
**Inventor:** TAKEYASU KAZUHIRO  
**Applicant:** SUMITOMO METAL IND  
**Classification:**  
 - international: **G01H1/00; G01H1/00; (IPC1-7): G01M19/00**  
 - european: **G01H1/00**  
**Application number:** JP19820180435 19821013  
**Priority number(s):** JP19820180435 19821013

Report a data error here

### Abstract of JP59068643

**PURPOSE:** To rationalize handling of data, by quantifying the degree of dissociation between plural kinds of degradation index on a basis of condition information of an equipment and plural sets of plural kinds of degradation index at the normal time to evaluate degradation.  
**CONSTITUTION:** Condition information of the equipment to be monitored, for example, a peak frequency SPM of an impulse wave due to rotation of a bearing is detected continuously to measure plural kinds of degradation index. The degree of dissociation between measured results and degradation index groups attained by obtaining plural sets of plural kinds of degradation index at the normal time is quantified as a Euclidean distance where reverse matrixes of variation and covariation matrixes of degradation index groups to be a reference are weighted, and degradation is discriminated from the time when the degree of dissociation is increased rapidly. For example, normal data of an exciter bearing, namely, three indexes of a corrected RMS value, a peak value, and an SPM value and Maharanobis generalized distance  $D<2>0$  are changed more greatly at the abnormal time than the normal time.

図 表	G (rms)	G (peak)	SPM	D <sup>2</sup>	備 考
エキサ付軸受	1.56	30.0	19	$9.6 \times 10^3$	ノーマル状態時
加給付駆動機	6.70	40.0	44	$5.4 \times 10^4$	ノーマル状態時
ヒートポンプ	2.70	22.0	23	$7.0 \times 10^4$	加給状態時
(備考) エキサ付軸受	0.18	3.0	9	$4.0 \times 10^3$	正 常

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

⑩ 日本国特許庁 (JP)  
⑫ 公開特許公報 (A)

⑪ 特許出願公開  
昭59—68643

⑬ Int. Cl.<sup>3</sup>  
G 01 M 19/00  
G 01 H 1/00

識別記号

庁内整理番号  
6611—2G  
6860—2G

⑭ 公開 昭和59年(1984)4月18日

発明の数 1  
審査請求 未請求

(全 5 頁)

⑮ 設備監視方法

属工業株式会社海南鋼管製造所  
内

⑯ 特 願 昭57—180435

⑰ 出 願 人 住友金属工業株式会社

⑱ 出 願 昭57(1982)10月13日

大阪市東区北浜5丁目15番地

⑲ 発 明 者 竹安数博

⑳ 代 理 人 弁理士 河野登夫

海南市船尾260番地の100住友金

明 細 書

1. 発明の名称 設備監視方法

2. 特許請求の範囲

1. 設備の劣化状況を監視する方法において、  
その監視すべき設備の状況情報を連続的又は  
離散的に検出して複数種の劣化指標を計測又  
は演算し、その結果と、正常時において前記  
複数種の劣化指標を複数組求めて得た劣化指  
標群との間の乖離度を、基準とすべき前記劣  
化指標群の分散・共分散行列の逆行列にて重  
み付けをしたユークリッド距離として定量化  
し、該乖離度にて前記設備の劣化状況を評価  
することを特徴とする設備監視方法。

3. 発明の詳細な説明

本発明は設備の劣化状況、特に軸受、プロア等  
の回転体を有する設備の劣化状況を監視する方  
法に関する。

従来、設備の劣化状況を監視するために種々の  
計測値又は計算値を用いることが提案されてい  
る。  
例えば軸受を有する設備において、その軸受内

部、即ち外輪、内輪、転動体又は保持器に欠陥が  
生ずると、その回転による衝撃波の過渡応答が極  
めて高い周波数域(20～30 kHz以上)におい  
て発生するが、このピークを周波数: 35 kHzの  
条件にてフィルタをかけて求めるSPM(Shock  
Pulse Meter)値を用いることが提案されている。

また加速度センサより取得したデータのピーク  
値を求めることが提案されている。

また加速度センサ出力信号を適宜サンプリング  
して得られるデータより下記(1)式にて示されるRMS  
(Root Mean Square)値を求めることも提案され  
ている。

$$R.M.S. = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad \dots (1)$$

但し、 $x_i$ : サンプリングして得られる時系列  
データ ( $i = 1, 2 \dots N$ )

$N$ : データ数

$\bar{x}$ :  $x_i$ の平均値、即ち  $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$

更には前記ピーク値を前記RMS値にて除したク  
レストファクタ (Crest factor) 値を用いること

が提案されている。

そしてこれらの他にも振動速度、尖り(Kurtosis) 値等を用いることが提案されているが、いずれも天々の値を個々に評価していたにすぎない。これに対し、近年、設備の劣化状況の診断の信頼性向上のために上述した各値を総合的に評価する指標を導出することが要望されている。

本発明は斯かる要望に応えるべく、複数組の劣化指標群を用いる場合に利用される多変量解析手法を援用し、マハラノビス汎距離(Maharanobis' generalized distance)を導入することにより、データの取扱を適正に行うと共にデータを合理的に総合評価する指標を導出することを目的とする。

本発明に係る設備監視方法は、設備の劣化状況を監視する方法において、その監視すべき設備の状況情報を連続的又は離散的に検出して複数種の劣化指標を計測又は演算し、その結果と、正常時において前記複数種の劣化指標を複数組求めて得た劣化指標群との間の乖離度を、基準とすべき前記劣化指標群の分散・共分散行列の逆行列にて重

み付けをしたユークリッド距離、即ちマハラノビス汎距離として定量化し、該乖離度にて前記設備の劣化状況を評価することを特徴とする。

次に本発明において導入するマハラノビス汎距離について説明する。先ず所定数の $N_0$ 組の原データから、前述したSPM値、ピーク値、RMS値、クレストファクタ値等、 $p$ 種の劣化指標を計測(演算)して下記(2)式にて示される $N_0$ 組の正常時における劣化指標群 $\mathbf{z}_1$ を用意しておく。

$$\mathbf{z}_1 = \begin{pmatrix} z_{11} \\ z_{12} \\ \vdots \\ z_{1p} \end{pmatrix} \quad \dots (2)$$

但し、 $i : 1, 2, \dots, N_0$

なお、 $\mathbf{z}_1$ は第1組目の原系列データ群 $\{x_t^i\}$ ( $t = 1, 2, \dots, N$ )より得られる( $i = 1, 2, \dots, N_0$ )。いま劣化状況を判定したい原データの劣化指標群を $\mathbf{z}_0$ とするとマハラノビス汎距離 $D_0^2$ は下記(3)式の如く定義される。

$$D_0^2 = (\mathbf{z}_0 - \bar{\mathbf{z}})' \mathbf{J}^{-1} (\mathbf{z}_0 - \bar{\mathbf{z}}) \quad \dots (3)$$

但し、 $\bar{\mathbf{z}}$  : 平均

$$\text{即ち、} \bar{\mathbf{z}} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} \mathbf{z}_i = \begin{pmatrix} \bar{z}_1 \\ \bar{z}_2 \\ \vdots \\ \bar{z}_p \end{pmatrix}$$

$\mathbf{J}$  : 分散・共分散行列

即ち、 $\mathbf{J} = \text{Var}[\mathbf{z}_1]$

$$= E[(\mathbf{z}_1 - \bar{\mathbf{z}})(\mathbf{z}_1 - \bar{\mathbf{z}})']$$

$$= (\sigma_{k\ell})$$

$$\text{ここで } \sigma_{k\ell} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} (\alpha_{ik} - \bar{\alpha}_k)(\alpha_{i\ell} - \bar{\alpha}_\ell)$$

なお、 $\text{Var}[\ ]$ は分散を、 $E[\ ]$ は平均を天々示す。

このマハラノビス汎距離 $D_0^2$ の物理的意義を理解するために $(z_1, z_2)$ の二次元の場合を例にとつて説明したのが第1図及び第2図である。第1図は横軸に $z_1$ をとり、縦軸に $z_2$ をとり、その $z_1, z_2$ 平面上において正常時データ $\mathbf{z}_1$ の等確率長円を示したものである。また第2図はそのデータ $\mathbf{z}_1$ に対し分散・共分散行列の逆行列による重み付けを行つて $z_1, z_2$ 共に平均: 0, 分散1となるように正規

化し、その結果の等確率長円を示したものである。いま判定したいデータを $(z_1^0, z_2^0)$ とすると、マハラノビス汎距離 $D_0^2$ は、上述の正規化された等確率長円からなる確率分布曲面上におけるその勾配を考慮に入れた距離と理解することができる。

斯かるマハラノビス汎距離 $D_0^2$ を導入して設備の劣化状況を監視する場合は、その評価指標として用いるマハラノビス汎距離 $D_0^2$ は正規化された状態にて求められたものである上、正常データ群からの乖離度をもつて定量化したものである。設備劣化が進展するほど、その乖離度が大きくなるから、原系列の各指標が設備の劣化と共に増加する傾向にある場合にも、まれ減少する傾向にある場合にも、いずれの場合にもマハラノビス汎距離 $D_0^2$ によつて一様に評価でき、データの取扱を適正に行うことができる。またマハラノビス汎距離 $D_0^2$ は、従来より用いられる平均値からの距離 $(\mathbf{z}_0 - \bar{\mathbf{z}})'(\mathbf{z}_0 - \bar{\mathbf{z}})$ を正規化すべく分散・共分散行列の逆行列 $\mathbf{J}^{-1}$ を用いているので、劣化指標群 $\mathbf{z}_1$ に関する多くの情報、例えばデータの相互関係に関する

情報を含んでおり、データの合理的な総合評価を行うことができる。

次に本発明方法の具体的な実施例について説明する。エキサイタ軸受を有する設備において、その軸受の異常、ミスアライメント、アンバランス等に係る諸データについて本発明方法を適用した。第1表は本発明方法を実施するために使用した正常データ、即ち補正RMS値、ピーク値及びBPM値の3種の指標について5組だけ求めた正常データを一覧表にまとめたものである。このデータは同一設備についての異なる時期における5回の測定にて得た数値であるが、同仕様の設備5つについて得た数値であつても同様に扱える。このデータに基づいて分散・共分散行列 $\mathbf{L}$ を求めると下記(4)式のようになる。

$$\mathbf{L} = \begin{pmatrix} 0.0028 & 0.09 & -0.10 \\ 0.0942 & 3.44 & -2.72 \\ -0.1036 & -2.72 & 8.56 \end{pmatrix} \quad \dots (4)$$

更にその逆行列 $\mathbf{L}^{-1}$ を求めると下記(5)式のようになる。

$$\mathbf{L}^{-1} = \begin{pmatrix} 15579.64 & -370.663 & 70.77 \\ -370.67 & 9.222 & -1.56 \\ 70.78 & -1.561 & 0.48 \end{pmatrix} \quad \dots (5)$$

また第2表は、劣化状況を判定したい設備について第1表に示す正常データを基準とする乖離度、即ちマハラノビス汎距離 $D_0^2$ を求めた結果を、前記各指標のデータと共に示している。なお、本表には第1表第1欄のデータについてのマハラノビス汎距離 $D_0^2$ も比較のために求めて併記してある。判定したい設備の中で基準とした正常データを採取した設備と同じ設備であるエキサイタ軸受を有する設備についてみるに、判定したい設備についてのマハラノビス汎距離 $D_0^2$ は正常時におけるマハラノビス汎距離 $D_0^2$ に比して著しい隔たりがあり、その設備は劣化していると判定できる。そしてこれを分解して劣化状況を調査してみたところ、軸受内においてフレーキング及び保持器損傷が発生しており、本発明方法による判定が有効であることが分かった。

更に第2表には、基準とした正常データを採取

した設備と異なる設備、即ち加熱炉送風機及びビット冷却ファン（いずれも軸受部に信号を計測）が異常である場合のマハラノビス汎距離 $D_0^2$ についても示してあるが、この場合もそのマハラノビス汎距離 $D_0^2$ が前記正常時におけるマハラノビス汎距離 $D_0^2$ に比して著しい隔たりがあり、この場合にも設備の劣化状況を有効に判定し得ることが分かった。この場合、設備が異なり、振動信号レベルは異なるものの、大旨同一範疇で劣化診断が可能であることを示している。

以上詳述した如く、本発明方法を用いて設備の劣化状況を監視する場合は、複数組の劣化指標群の演算結果と正常時における複数組の劣化指標群との間の乖離度を、正常時における複数組の劣化指標群の分散・共分散行列の逆行列にて重み付けをしたユークリッド距離、即ちマハラノビス汎距離をもつて設備の劣化状況を評価するので、種々の劣化指標を合理的に総合評価することができる。従つて本発明は設備の劣化状況、特に軸受、プロア等の回転体を有する設備の劣化状況を監視する

第 1 表

設 備 名	$G^*(rms)$	$G(peak)$	SPM	備 考
エキサイタ軸受	0.18	3.0	9	正 常
エキサイタ軸受	0.22	4.0	10	正 常
エキサイタ軸受	0.29	7.5	10	正 常
エキサイタ軸受	0.13	2.0	17	正 常
エキサイタ軸受	0.22	4.0	10	正 常
平均 $(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i)$	0.2080	4.10	11.20	
分散 $(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2)$	0.0028	3.44	8.56	

注 1)  $G^*(rms)$  : 原データのRMS値を軸径及び回転数にて補正した値

$$\text{即ち、 } G^*(rms) = \frac{1}{d \times n^2 \times 10^{-8}} G(rms)$$

但し、  $G(rms)$  : 原データのRMS値(加速度)

$d$  : 軸径 (mm)

$n$  : 回転数 (rpm)

注 2)  $G(peak)$  : ヒール値(加速度)

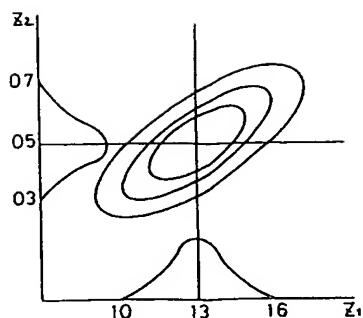
第 2 表

設 備 名	$G^*(rms)$	$G(peak)$	SPM	$D_0^2$	備 考
エキサイタ軸受	1.56	30.0	19	$9.6 \times 10^3$	フレッキング保持器損傷
加熱炉送風機	6.70	40.0	44	$5.4 \times 10^5$	フレッキング、アンバランス
ヒート冷却ファン	2.70	22.0	23	$7.0 \times 10^4$	軸受損傷、ミスアライメント
(参考) エキサイタ軸受	0.18	3.0	9	$4.0 \times 10^0$	正 常

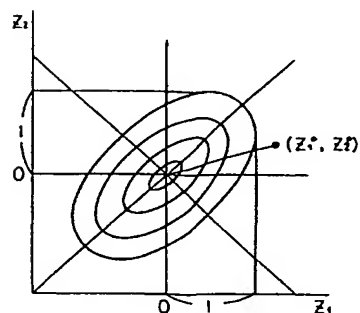
場合に極めて有効な手段を提供する。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図及び第2図は本発明に係るマハラノビス汎距離を説明するためのグラフである。



第 1 図



第 2 図

#### 手 続 補 正 書 ( 自 発 )

昭和58年8月23日

#### 特 許 庁 長 官 殿

1. 事件の表示 昭和57年特許願第180435号

2. 発明の名称 数値監視方法

3. 補正をする者

事件との関係 特許出願人

所在地 大阪市東区北浜5丁目15番地

(211) 住友金属工業株式会社

名称 代表者 熊谷典文

4. 代理人

住所 〒543 大阪市天王寺区四天王寺1丁目14番22号

日産ビル207号

河野特許事務所(電話06-779-3088)

氏 名 (7886) 弁護士 河野登夫

5. 補正の対象

明細書の「発明の詳細な説明」の欄

6. 補正の内容

(1) 明細書の第5頁7行目に

「ここで  $\sigma_{kel} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\alpha_{ik} - \bar{\alpha}_k)(\alpha_{il} - \bar{\alpha}_k)$  とあるを、

「ここで  $\sigma_{kel} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} (\alpha_{ik} - \bar{\alpha}_k)(\alpha_{il} - \bar{\alpha}_k)$  と修正する。」